



УДК 697.137.2

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЛОСКИХ ОБРАЗЦОВ ИЗ НАПРЯГАЮЩЕГО БЕТОНА ПРИ ДВУХОСНОМ ОГРАНИЧЕНИИ ДЕФОРМАЦИЙ РАСШИРЕНИЯ

**Марчук В.А.\***

*Брестский государственный технический университет*

Одним из эффективных способов исключения температурно-усадочных трещин в железобетонных конструкциях является создание в бетоне конструкции предварительных сжимающих напряжений за счёт натяжения расположенной в нем арматуры. Существуют различные технологические способы предварительного напряжения арматуры. Общим их недостатком является сложность и трудоёмкость применения в построечных условиях, в частности при предварительном напряжении плитных конструкций. Кроме того, при выполнении предварительного напряжения механическим способом появляется необходимость устройства в конструкции стыков для расположения анкерных приспособлений. Такие стыки являются наиболее слабым местом конструкции, так как в них наблюдаются механические повреждения, коррозия анкерных устройств, морозное разрушение бетона, что существенно снижает долговечность сооружения [1].

Необходимо так же отметить, что в плитных железобетонных конструкциях, имеющих значительную протяженность в двух взаимно перпендикулярных направлениях, следовало бы выполнять предварительное напряжение по всей плоскости, что в реальной строительной практике трудно осуществимо.

Рациональным в такой ситуации является применение для создания преднапряжения напрягающего бетона. Это позволяет значительно упростить предварительное напряжение плитных конструкций в построечных условиях, а так же создавать предварительное напряжение таких конструкций в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

В тоже время, несмотря на все достоинства применения напрягающего бетона в плитных конструкциях, армированных в двух взаимно перпендикулярных направлениях, методика расчёта таких конструкций разработана не достаточно полно.

При исследовании железобетонных элементов из напрягающего бетона при различной степени упругого ограничения деформаций расширения в работах [2,3] получены аналитические зависимости, связывающие величину самоупреждения с жёсткостью ограничительной связи, характеризующей традиционно через коэффициент армирования сечения. Для условий одноосного (линейного) ограничения, при симметричном расположении в пределах сечения, самоупреждение предложено определять по формуле:

$$\sigma_{CE} = f_{CE,d} \sqrt{\frac{1,57 \cdot \rho_I}{0,0057 + \rho_I}} \quad (1)$$

а при двухосном ограничении, когда количество арматуры, расположенной по оси X и оси Y равно ( $\rho_x = \rho_y = \rho_I$ ), по формуле:

$$\sigma_{CE} = f_{CE,d2} \cdot \rho_I^\alpha \quad (2)$$

В формулах (1) и (2):  $f_{CE,d}$  - расчётное самоупреждение, определяемое на стандартных образцах, твердеющих в условиях одноосного ограничения,

$f_{CE,d2}$  - тоже, определенное на контрольных образцах, твердеющих в условиях двухосного ограничения

$\rho_I$  - коэффициент армирования сечения

$\alpha$  - эмпирический коэффициент, определяемый в соответствии с данными, приведенными в работе [4], по формуле:

$$\alpha = 0,702 - 0,00278 \cdot f_{CE,d2} \quad (3)$$

Нормативный документ [4], на основании исследований [3] предлагает определять самоупреждение при плоском ограничении деформаций расширения, учитывая влияние "дополнительного" направления по отношению к "основному" путём введения корректирующего коэффициента ( $k_s$ ) по формулам:

$$\sigma_{CE,x} = k_s \cdot f_{CE,d} \cdot k_{\rho,x}$$

$$\sigma_{CE,y} = k_s \cdot f_{CE,d} \cdot k_{p,y} \quad (4)$$

где:  $k_s$  — коэффициент, учитывающий влияние плоского ограничения и принимаемый независимо от соотношения коэффициентов армирования  $\rho_x$  и  $\rho_y$  равным  $k_s=1.2$ .

Как следует из анализа результатов опытов [2] коэффициент  $k_s$  не всегда правильно учитывает влияние разного количества арматуры в "дополнительном" направлении на самоупрежение в "основном" направлении.

С целью выяснения такого влияния были проведены исследования двухосно ограниченных образцов из напрягающего бетона при различных коэффициентах ограничивающего армирования в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Конструкция опытных образцов показана на рис. 10.0

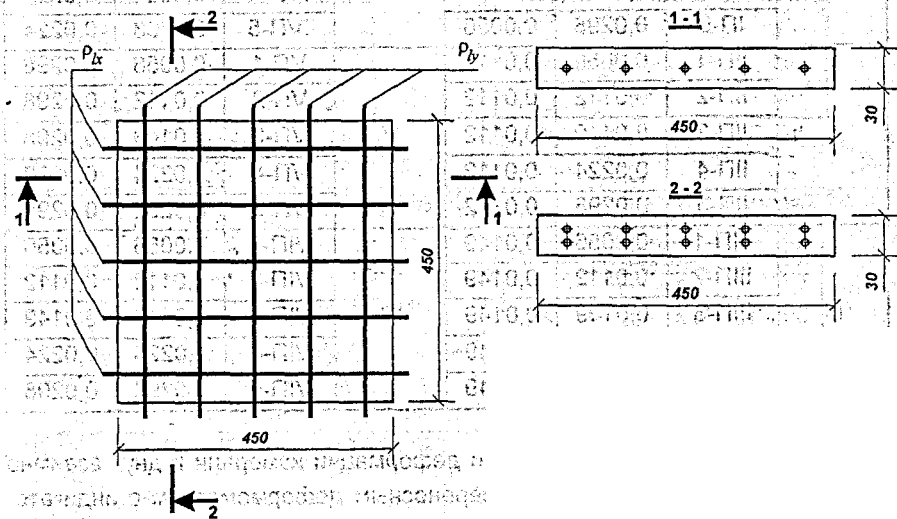


Рис. 1. Конструкция опытных образцов.

Образцы имели размеры 45x45x3 см и армировались проволочной арматурой  $\varnothing 4$  класса Вр-I и стержневой арматурой  $\varnothing 8$  класса А-III.

Напрягающий цемент изготовлен полупромышленным способом и имел марку по энергоактивности НЦ-40. Состав напрягающего цемента принят следующий: портландцемент марки ПЦ-500Д0 Волковского цементного завода 82 %, глиноземистый цемент Пашийского завода 10 %, гипс природный

8, % по массе. Тонкость помола напрягающего цемента определяли на поверхностемере ПМЦ-500. Удельная поверхность составила 3600 см<sup>2</sup>/г.

Для изготовления образцов использовался раствор состава НЦ:П=1:1 на песке с модулем крупности  $M_{кр}=2.4$  при В/Ц=0.32. Растворную смесь приготавливали вручную, уплотнение производили на лабораторной виброплотителе.

Всего было изготовлено 6 серий по 5 образцов в каждой с характеристиками, показанными в табл. 1.

Таблица 1.

Серия	Образец	$\rho_{ix}$	$\rho_{iy}$	Серия	Образец	$\rho_{ix}$	$\rho_{iy}$
I	ИП-1	0,0056	0,0056	IV	ИВП-1	0,0056	0,0224
	ИП-2	0,0112	0,0056		ИВП-2	0,0112	0,0224
	ИП-3	0,0149	0,0056		ИВП-3	0,0149	0,0224
	ИП-4	0,0224	0,0056		ИВП-4	0,0224	0,0224
	ИП-5	0,0298	0,0056		ИВП-5	0,0298	0,0224
II	ИИП-1	0,0056	0,0112	V	ВИП-1	0,0056	0,0298
	ИИП-2	0,0112	0,0112		ВИП-2	0,0112	0,0298
	ИИП-3	0,0149	0,0112		ВИП-3	0,0149	0,0298
	ИИП-4	0,0224	0,0112		ВИП-4	0,0224	0,0298
	ИИП-5	0,0298	0,0112		ВИП-5	0,0298	0,0298
III	ИИИП-1	0,0056	0,0149	VI	ВИИП-1	0,0056	0,0056
	ИИИП-2	0,0112	0,0149		ВИИП-2	0,0112	0,0112
	ИИИП-3	0,0149	0,0149		ВИИП-3	0,0149	0,0149
	ИИИП-4	0,0224	0,0149		ВИИП-4	0,0224	0,0224
	ИИИП-5	0,0298	0,0149		ВИИП-5	0,0298	0,0298

В процессе твердения бетона его деформации измеряли в двух взаимно перпендикулярных направлениях переносным деформометром с индикатором часового типа ИЧ-10. Одновременно с опытными образцами изготавливали контрольные образцы в соответствии со стандартной методикой [5].

По результатам измерений вычисляли коэффициент  $k_{sy}$  как:

$$k_{sy} = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_{y,0}} \quad (5)$$

где:  $\varepsilon_y$  — деформация опытного образца в направлении Y при двухосном ограничении ( $\rho_x \neq 0, \rho_y \neq 0$ );

$\varepsilon_{y,0}$  — то же при одноосном ограничении ( $\rho_x = 0, \rho_y \neq 0$ ).

Деформации  $\varepsilon_{y,0}$  вычисляли по формуле:

$$\varepsilon_{y,0} = \frac{f_{CE,d} \cdot k_p}{\rho_l \cdot E_s} \quad (6)$$

где:  $f_{CE,d}$  - расчётное самоупругие, определяемое на стандартных образцах, твердеющих в условиях одноосного ограничения;

$k_p$  - коэффициент, учитывающий влияние на самоупругие количества армирования;

$\rho_l$  - коэффициент армирования сечения;

$E_s$  - модуль упругости арматуры.

Полученные экспериментальные значения  $k_{sy}$  от количества армирования по направлению X при различных коэффициентах армирования по направлению Y приведены на рис. 2.

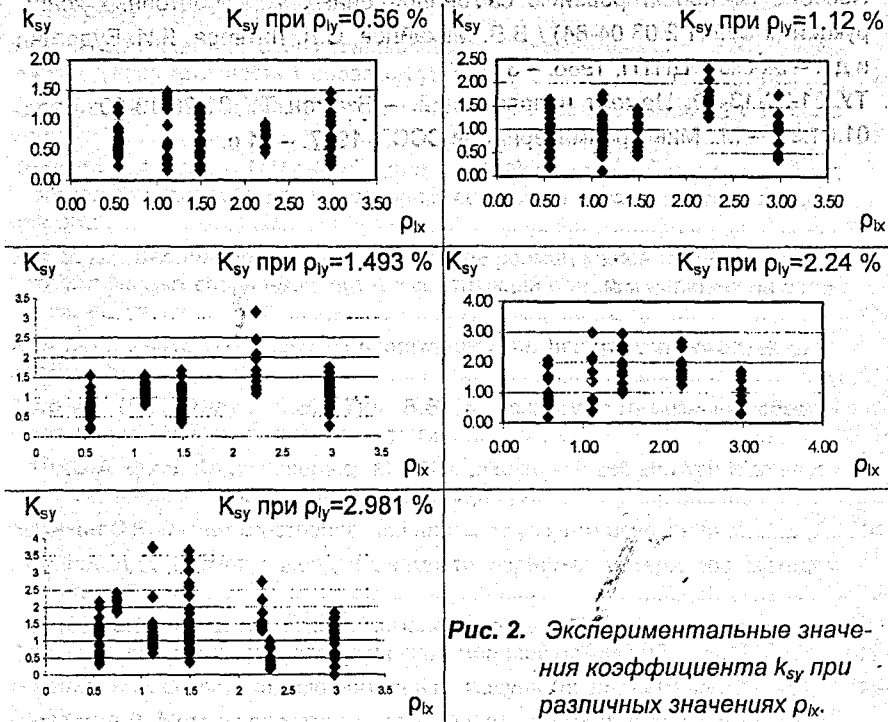


Рис. 2. Экспериментальные значения коэффициента  $k_{sy}$  при различных значениях  $\rho_{lx}$ .

Как видно из экспериментальных данных, коэффициент  $k_s$  не является постоянным, а зависит как от количества арматуры в «дополнительном» направлении, так и от количества арматуры в «основном» направлении. Поэтому использование постоянной величины коэффициента  $k_s$  не вполне корректно.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Александровский С.В., Бакума П.Ф. Предварительно напряженный и самонапряженный бетон в США. – М.: Стройиздат, 1974. – 320 с.
2. Литвер С.Л., Петухов А.И. Самонапряжение при двухосном ограничении деформаций расширения // Исследования и применение напрягающего бетона и самонапряженных конструкций / Сб. тр. Под ред. В.В. Михайлова. – Москва, 1984. – с 67-78.
3. Михайлов В.В., Гершвальд В.С. Плоские самонапряженные конструкции // Исследования и применение напрягающего бетона и самонапряженных конструкций / Сб. тр. Под ред. В.В. Михайлова и С.Л. Литвера. – М. Стройиздат, 1965. – с. 31-34.
4. Пособие по проектированию самонапряженных железобетонных конструкций (к СНиП 2.03.04-84) / В.В. Михайлов, С.Л. Литвера, Л.И. Будагянц и др. – Москва: ЦИТП, 1986. – 37 с.
5. ТУ 21-26-13-90. Цемент напрягающий. – Взамен ТУ 21-26-13-80; Введ. 01.01.91. – М.: Минстройматериалов СССР, 1987. – 24 с.